

**Precision spatial point determination device for measuring machine**

Patent Number: DE4345095  
Publication date: 1995-06-22  
Inventor(s): ZIEGENBEIN RAINER (DE)  
Applicant(s): PERTHEN FEINPRUEF GMBH (DE)  
Requested Patent: ☐ DE4345095  
Application Number: DE19934345095 19931231  
Priority Number(s): DE19934345095 19931231  
IPC Classification: G01B21/04; G01D3/00  
EC Classification: G01B5/00C, G01B5/008  
Equivalents:

---

**Abstract**

---

The device uses elongate reference elements extending along each of the machine axes, scanned by adjacent measuring sensors, for determining the path deviation resulting from the movement of each machine carriage along its respective guide. The corresponding measuring signals are fed to a processor, for calculation of position or path coordinates, or setting signals. The reference elements are supported so that they are free from external forces and are coupled together at coupling points, at which the measuring sensors, determining the relative movement are located.

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2

**BEST AVAILABLE COPY**



# 1 Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur exakten Bestimmung von Raumpunkten bei einer mehrere Bahnen aufweisenden Maschine, insbesondere Meßmaschine, die ein Führungssystem mit entsprechend den einzelnen Bahnen ausgerichteten länglichen Führungen und auf diesen längsbeweglich gelagerte Schlitten aufweist, von denen wenigstens einer zur Aufnahme eines längs einer vorbestimmten Bahn im Raum zu verbleibenden Teiles eingerichtet ist und wobei einzelnen Bahnen auf die ausgerichtete längliche Bezugs- 5 elemente zugeordnet sind, die durch ihnen benachbarte Meßstäbe abgestützt sind, welche bei der Bewegung des Schlittens auf die Bezugsfläche längliche Bahnabweichungen von dem zugeordneten Bezugs- 10 element feststellen und für die erfaßten Meßwerte kennzeichnende Meßwertsignale in einen Rechner einleiten, der daraus Ortskoordinatensignale erzeugt.

Bei mehrere Bahnen aufweisenden Maschinen, wie etwa Werkzeugmaschinen oder Meßmaschinen, um nur zwei Beispiele zu erwähnen, sind den in der Regel mit den Achsen eines kartesischen Koordinatensystems zusammenfallenden Bahnenführungen zugeordnet, die konstruktiv in verschiedener Weise ausgebildet sein können und die durchweg eine Doppelfunktion erfüllen müssen. Sie sollen zum einen die beim Transport des hier allgemein als "Schlitten" bezeichneten, geführten Teiles aufweisenden Transportkräfte (beispielsweise Reibungs- und Beschleunigungskräfte) einleiten, 15 ferner an dem geführten Teil angreifenden äußeren Kräfte (z.B. Gewichte Reaktionskräfte) aufnehmen und zum anderen eine präzise Führung dieses Teiles längs der jeweiligen Bahnachse gewährleisten. Beide Funktionen stellen teilweise entgegengesetzte Forderungen an die konstruktive Gestaltung der Maschine und deren Füh- 20 rung.

Durch fertigungsbedingte Abweichungen (translati- 25 onen und rotatorischer Art) der Gestalt und der räumlichen Lage der Führungselemente ergeben sich für das geführte Teil Abweichungen von der gewünschten Bahn bzw. Position die die z. Bsp. bei einer Werkzeugma- 30 schine erzielbare Genauigkeit des herzustellenden Werkstückes oder bei einer Meßmaschine der zu dem Meßobjekt gewonnenen Meßwerte in teilweise unvorher- 35 sehbare Weise beeinträchtigen. Um diese Abweichungen gering zu halten, ist es erforderlich, die Führungselemente sehr genau zu fertigen, was einen hohen Her- 40 stellungsaufwand bedingt. Andererseits werden die Führungselemente aber durch die Transportkräfte und eine Reihe von Störgrößen, wie die bei Werkzeugma- 45 schinen auftretenden Schneidkräfte, durch Schwere- 50 schen aufweisenden Beschleunigungskräfte bei Ver- 55 60 65

änderung der Transportgeschwindigkeit deformiert wor- 60 den, was eine Positionsveränderung bei Verlagerung der Belastung des geführten Teiles und Beschleunigungskräfte bei Ver- 65 70 75 80 85 90 95 100

ändern häufig als die Anwendbarkeit der Maschine ein- 100 105 110 115 120 125 130 135 140 145 150 155 160 165 170 175 180 185 190 195 200 205 210 215 220 225 230 235 240 245 250 255 260 265 270 275 280 285 290 295 300 305 310 315 320 325 330 335 340 345 350 355 360 365 370 375 380 385 390 395 400 405 410 415 420 425 430 435 440 445 450 455 460 465 470 475 480 485 490 495 500 505 510 515 520 525 530 535 540 545 550 555 560 565 570 575 580 585 590 595 600 605 610 615 620 625 630 635 640 645 650 655 660 665 670 675 680 685 690 695 700 705 710 715 720 725 730 735 740 745 750 755 760 765 770 775 780 785 790 795 800 805 810 815 820 825 830 835 840 845 850 855 860 865 870 875 880 885 890 895 900 905 910 915 920 925 930 935 940 945 950 955 960 965 970 975 980 985 990 995

105 110 115 120 125 130 135 140 145 150 155 160 165 170 175 180 185 190 195 200 205 210 215 220 225 230 235 240 245 250 255 260 265 270 275 280 285 290 295 300 305 310 315 320 325 330 335 340 345 350 355 360 365 370 375 380 385 390 395 400 405 410 415 420 425 430 435 440 445 450 455 460 465 470 475 480 485 490 495 500 505 510 515 520 525 530 535 540 545 550 555 560 565 570 575 580 585 590 595 600 605 610 615 620 625 630 635 640 645 650 655 660 665 670 675 680 685 690 695 700 705 710 715 720 725 730 735 740 745 750 755 760 765 770 775 780 785 790 795 800 805 810 815 820 825 830 835 840 845 850 855 860 865 870 875 880 885 890 895 900 905 910 915 920 925 930 935 940 945 950 955 960 965 970 975 980 985 990 995

110 115 120 125 130 135 140 145 150 155 160 165 170 175 180 185 190 195 200 205 210 215 220 225 230 235 240 245 250 255 260 265 270 275 280 285 290 295 300 305 310 315 320 325 330 335 340 345 350 355 360 365 370 375 380 385 390 395 400 405 410 415 420 425 430 435 440 445 450 455 460 465 470 475 480 485 490 495 500 505 510 515 520 525 530 535 540 545 550 555 560 565 570 575 580 585 590 595 600 605 610 615 620 625 630 635 640 645 650 655 660 665 670 675 680 685 690 695 700 705 710 715 720 725 730 735 740 745 750 755 760 765 770 775 780 785 790 795 800 805 810 815 820 825 830 835 840 845 850 855 860 865 870 875 880 885 890 895 900 905 910 915 920 925 930 935 940 945 950 955 960 965 970 975 980 985 990 995

115 120 125 130 135 140 145 150 155 160 165 170 175 180 185 190 195 200 205 210 215 220 225 230 235 240 245 250 255 260 265 270 275 280 285 290 295 300 305 310 315 320 325 330 335 340 345 350 355 360 365 370 375 380 385 390 395 400 405 410 415 420 425 430 435 440 445 450 455 460 465 470 475 480 485 490 495 500 505 510 515 520 525 530 535 540 545 550 555 560 565 570 575 580 585 590 595 600 605 610 615 620 625 630 635 640 645 650 655 660 665 670 675 680 685 690 695 700 705 710 715 720 725 730 735 740 745 750 755 760 765 770 775 780 785 790 795 800 805 810 815 820 825 830 835 840 845 850 855 860 865 870 875 880 885 890 895 900 905 910 915 920 925 930 935 940 945 950 955 960 965 970 975 980 985 990 995

120 125 130 135 140 145 150 155 160 165 170 175 180 185 190 195 200 205 210 215 220 225 230 235 240 245 250 255 260 265 270 275 280 285 290 295 300 305 310 315 320 325 330 335 340 345 350 355 360 365 370 375 380 385 390 395 400 405 410 415 420 425 430 435 440 445 450 455 460 465 470 475 480 485 490 495 500 505 510 515 520 525 530 535 540 545 550 555 560 565 570 575 580 585 590 595 600 605 610 615 620 625 630 635 640 645 650 655 660 665 670 675 680 685 690 695 700 705 710 715 720 725 730 735 740 745 750 755 760 765 770 775 780 785 790 795 800 805 810 815 820 825 830 835 840 845 850 855 860 865 870 875 880 885 890 895 900 905 910 915 920 925 930 935 940 945 950 955 960 965 970 975 980 985 990 995

125 130 135 140 145 150 155 160 165 170 175 180 185 190 195 200 205 210 215 220 225 230 235 240 245 250 255 260 265 270 275 280 285 290 295 300 305 310 315 320 325 330 335 340 345 350 355 360 365 370 375 380 385 390 395 400 405 410 415 420 425 430 435 440 445 450 455 460 465 470 475 480 485 490 495 500 505 510 515 520 525 530 535 540 545 550 555 560 565 570 575 580 585 590 595 600 605 610 615 620 625 630 635 640 645 650 655 660 665 670 675 680 685 690 695 700 705 710 715 720 725 730 735 740 745 750 755 760 765 770 775 780 785 790 795 800 805 810 815 820 825 830 835 840 845 850 855 860 865 870 875 880 885 890 895 900 905 910 915 920 925 930 935 940 945 950 955 960 965 970 975 980 985 990 995

130 135 140 145 150 155 160 165 170 175 180 185 190 195 200 205 210 215 220 225 230 235 240 245 250 255 260 265 270 275 280 285 290 295 300 305 310 315 320 325 330 335 340 345 350 355 360 365 370 375 380 385 390 395 400 405 410 415 420 425 430 435 440 445 450 455 460 465 470 475 480 485 490 495 500 505 510 515 520 525 530 535 540 545 550 555 560 565 570 575 580 585 590 595 600 605 610 615 620 625 630 635 640 645 650 655 660 665 670 675 680 685 690 695 700 705 710 715 720 725 730 735 740 745 750 755 760 765 770 775 780 785 790 795 800 805 810 815 820 825 830 835 840 845 850 855 860 865 870 875 880 885 890 895 900 905 910 915 920 925 930 935 940 945 950 955 960 965 970 975 980 985 990 995

135 140 145 150 155 160 165 170 175 180 185 190 195 200 205 210 215 220 225 230 235 240 245 250 255 260 265 270 275 280 285 290 295 300 305 310 315 320 325 330 335 340 345 350 355 360 365 370 375 380 385 390 395 400 405 410 415 420 425 430 435 440 445 450 455 460 465 470 475 480 485 490 495 500 505 510 515 520 525 530 535 540 545 550 555 560 565 570 575 580 585 590 595 600 605 610 615 620 625 630 635 640 645 650 655 660 665 670 675 680 685 690 695 700 705 710 715 720 725 730 735 740 745 750 755 760 765 770 775 780 785 790 795 800 805 810 815 820 825 830 835 840 845 850 855 860 865 870 875 880 885 890 895 900 905 910 915 920 925 930 935 940 945 950 955 960 965 970 975 980 985 990 995

140 145 150 155 160 165 170 175 180 185 190 195 200 205 210 215 220 225 230 235 240 245 250 255 260 265 270 275 280 285 290 295 300 305 310 315 320 325 330 335 340 345 350 355 360 365 370 375 380 385 390 395 400 405 410 415 420 425 430 435 440 445 450 455 460 465 470 475 480 485 490 495 500 505 510 515 520 525 530 535 540 545 550 555 560 565 570 575 580 585 590 595 600 605 610 615 620 625 630 635 640 645 650 655 660 665 670 675 680 685 690 695 700 705 710 715 720 725 730 735 740 745 750 755 760 765 770 775 780 785 790 795 800 805 810 815 820 825 830 835 840 845 850 855 860 865 870 875 880 885 890 895 900 905 910 915 920 925 930 935 940 945 950 955 960 965 970 975 980 985 990 995

145 150 155 160 165 170 175 180 185 190 195 200 205 210 215 220 225 230 235 240 245 250 255 260 265 270 275 280 285 290 295 300 305 310 315 320 325 330 335 340 345 350 355 360 365 370 375 380 385 390 395 400 405 410 415 420 425 430 435 440 445 450 455 460 465 470 475 480 485 490 495 500 505 510 515 520 525 530 535 540 545 550 555 560 565 570 575 580 585 590 595 600 605 610 615 620 625 630 635 640 645 650 655 660 665 670 675 680 685 690 695 700 705 710 715 720 725 730 735 740 745 750 755 760 765 770 775 780 785 790 795 800 805 810 815 820 825 830 835 840 845 850 855 860 865 870 875 880 885 890 895 900 905 910 915 920 925 930 935 940 945 950 955 960 965 970 975 980 985 990 995

150 155 160 165 170 175 180 185 190 195 200 205 210 215 220 225 230 235 240 245 250 255 260 265 270 275 280 285 290 295 300 305 310 315 320 325 330 335 340 345 350 355 360 365 370 375 380 385 390 395 400 405 410 415 420 425 430 435 440 445 450 455 460 465 470 475 480 485 490 495 500 505 510 515 520 525 530 535 540 545 550 555 560 565 570 575 580 585 590 595 600 605 610 615 620 625 630 635 640 645 650 655 660 665 670 675 680 685 690 695 700 705 710 715 720 725 730 735 740 745 750 755 760 765 770 775 780 785 790 795 800 805 810 815 820 825 830 835 840 845 850 855 860 865 870 875 880 885 890 895 900 905 910 915 920 925 930 935 940 945 950 955 960 965 970 975 980 985 990 995

155 160 165 170 175 180 185 190 195 200 205 210 215 220 225 230 235 240 245 250 255 260 265 270 275 280 285 290 295 300 305 310 315 320 325 330 335 340 345 350 355 360 365 370 375 380 385 390 395 400 405 410 415 420 425 430 435 440 445 450 455 460 465 470 475 480 485 490 495 500 505 510 515 520 525 530 535 540 545 550 555 560 565 570 575 580 585 590 595 600 605 610 615 620 625 630 635 640 645 650 655 660 665 670 675 680 685 690 695 700 705 710 715 720 725 730 735 740 745 750 755 760 765 770 775 780 785 790 795 800 805 810 815 820 825 830 835 840 845 850 855 860 865 870 875 880 885 890 895 900 905 910 915 920 925 930 935 940 945 950 955 960 965 970 975 980 985 990 995

160 165 170 175 180 185 190 195 200 205 210 215 220 225 230 235 240 245 250 255 260 265 270 275 280 285 290 295 300 305 310 315 320 325 330 335 340 345 350 355 360 365 370 375 380 385 390 395 400 405 410 415 420 425 430 435 440 445 450 455 460 465 470 475 480 485 490 495 500 505 510 515 520 525 530 535 540 545 550 555 560 565 570 575 580 585 590 595 600 605 610 615 620 625 630 635 640 645 650 655 660 665 670 675 680 685 690 695 700 705 710 715 720 725 730 735 740 745 750 755 760 765 770 775 780 785 790 795 800 805 810 815 820 825 830 835 840 845 850 855 860 865 870 875 880 885 890 895 900 905 910 915 920 925 930 935 940 945 950 955 960 965 970 975 980 985 990 995

165 170 175 180 185 190 195 200 205 210 215 220 225 230 235 240 245 250 255 260 265 270 275 280 285 290 295 300 305 310 315 320 325 330 335 340 345 350 355 360 365 370 375 380 385 390 395 400 405 410 415 420 425 430 435 440 445 450 455 460 465 470 475 480 485 490 495 500 505 510 515 520 525 530 535 540 545 550 555 560 565 570 575 580 585 590 595 600 605 610 615 620 625 630 635 640 645 650 655 660 665 670 675 680 685 690 695 700 705 710 715 720 725 730 735 740 745 750 755 760 765 770 775 780 785 790 795 800 805 810 815 820 825 830 835 840 845 850 855 860 865 870 875 880 885 890 895 900 905 910 915 920 925 930 935 940 945 950 955 960 965 970 975 980 985 990 995

170 175 180 185 190 195 200 205 210 215 220 225 230 235 240 245 250 255 260 265 270 275 280 285 290 295 300 305 310 315 320 325 330 335 340 345 350 355 360 365 370 375 380 385 390 395 400 405 410 415 420 425 430 435 440 445 450 455 460 465 470 475 480 485 490 495 500 505 510 515 520 525 530 535 540 545 550 555 560 565 570 575 580 585 590 595 600 605 610 615 620 625 630 635 640 645 650 655 660 665 670 675 680 685 690 695 700 705 710 715 720 725 730 735 740 745 750 755 760 765 770 775 780 785 790 795 800 805 810 815 820 825 830 835 840 845 850 855 860 865 870 875 880 885 890 895 900 905 910 915 920 925 930 935 940 945 950 955 960 965 970 975 980 985 990 995

175 180 185 190 195 200 205 210 215 220 225 230 235 240 245 250 255 260 265 270 275 280 285 290 295 300 305 310 315 320 325 330 335 340 345 350 355 360 365 370 375 380 385 390 395 400 405 410 415 420 425 430 435 440 445 450 455 460 465 470 475 480 485 490 495 500 505 510 515 520 525 530 535 540 545 550 555 560 565 570 575 580 585 590 595 600 605 610 615 620 625 630 635 640 645 650 655 660 665 670 675 680 685 690 695 700 705 710 715 720 725 730 73

hängigen Meßwertaufnehmern aufzuzeichnen, die von dem Handhabungsgerät relativ zu einer Schablone bewegt werden, welche die Idealkontur der gewünschten Bewegung verkörpert. Von diesen Meßwertaufnehmern sind fünf induktive, analoge Abstandsmesser, während der sechste Meßwertaufnehmer ein digitaler Infra-rot-Sensor ist.

Mit einer höheren Genauigkeit arbeitet eine in Proc. of 18th MTMA Conf. 1977, Seiten 569 bis 575 beschriebene Einrichtung zur automatischen Feststellung und Kompensation von Bahnfehlern in Führungen von Werkzeugmaschinen, bei der die Bewegungen der geführten Teile kontinuierlich auf die Achsen eines räumlichen kartesischen Koordinatensystems bezogen werden, das durch entsprechende Bezugselemente in Form von Normalen gebildet ist, die unabhängig voneinander und von den Führungselementen der jeweils zugeordneten Führung angeordnet sind. Die Bezugselemente jeder Führung werden von jeweils fünf Längenelementen abgetastet, die räumlich derart verteilt angeordnet sind, daß die transparenzen und die Kipp-, Dreh- sowie Rollbewegungskomponenten des jeweiligen Schlittens bezüglich der räumlichen Bezugselemente nach Größe und Richtung exakt ermittelt werden. Die von einem Rechner aus den entsprechenden Meßwertsignalen abgetasteten Korrektursignale werden entweder aufgezeichnet, so daß sie beispielsweise bei einer Meßmaschine zur Meßwerkstruktur verwendet werden können oder zur Steuerung der Stellantriebe der einzelnen Achsen benutzt, derart, daß die Lagefehler kompensiert werden.

Um die Anforderungen an die Formgenauigkeit der Bezugselemente gering zu halten, ist es aus dieser Druckschrift auch bekannt, die Abweichungen der abgetasteten Bezugslinien oder -flächen auf den Bezugselementen von einem Linearitätsnormal vor dem eigentlichen Meßvorgang zu bestimmen und die entsprechenden in dem Rechner gespeicherten Daten bei der Berechnung der Korrektursignale zu berücksichtigen. Mit anderen Worten, vorhandene Abweichungen der Bezugselemente von der Idealform werden über die Software in dem Rechner kompensiert.

Bei dieser Einrichtung muß Sorge getragen werden, daß die Bezugselemente ihre räumliche Ausrichtung auf die Achsen des Koordinatensystems nicht in unveränderbarer Weise verändern, weil sonst Meßfehler bei der Feststellung der Bahnabweichungen der geführten Teile auftreten.

Grundsätzlich Ähnliches gilt auch für eine Abweichungs- und Korrektureinrichtung für Werkzeugmaschinen, die aus der DE-OS 43 09 294 bekannt ist und die in Echtzeit arbeitet und Bahnabweichungen von einer wahren Geraden relativ zu einem Werkstück korrigiert. Dabei wird ein in Richtung des jeweiligen Werkzeugschlittens-Verfahrgeweges vorgespannter Draht als Geradennormal verwendet.

Aufgabe der Erfindung ist es deshalb, bei einer mehrschichtigen Meß- oder Fertigungsmaschine der eingangs genannten Art ohne unvertretbar großen konstruktiven Aufwand eine möglichst vollständige Erfassung und Kompensation von auftretenden Führungsfehlern zu erzielen.

Zur Lösung dieser Aufgabe weist die Maschine die Merkmale des Patentanspruchs 1 auf.

Durch die konsequente Aufteilung des Führungssystems in ein mehrschichtiges Transportsystem, das allein die Aufgabe hat, die Transportstrecke auszumessen und ein von äußerer Kräfteeinwirkung im wesentlichen frei-

gehaltenes Bezugssystem, das die Präzision der Führung und deren Lage im Bezug auf andere Achsen sicherstellt, ist eine optimale konstruktive Ausführung der Elemente der beiden Systeme entsprechend ihrer jeweiligen Funktion möglich. Damit lassen sich mit verhältnismäßig geringem konstruktivem Aufwand hochgenaue Meß- und Fertigungsmaschinen herstellen. Das Transportsystem muß nämlich nur noch verminderte Anforderungen bezüglich der Führungseigenschaften erfüllen, d. h. es kann in der Regel ohne Justageelemente stief aufgebaut werden, wobei die zum Einrast kommenden Lagerelemente in den Führungen kostengünstig ausgeführt werden können.

Das Bezugssystem kann seinerseits mit verhältnismäßig einfachen Mitteln im wesentlichen kräftefrei gefertigt, d. h. an den entsprechenden Maschinenstellen angebracht werden. Das Material und die Formgestaltung seiner Bezugselemente sind so gewählt, daß die Geometrie des Bezugssystems langzeitstabil und wenig temperaturabhängig ist.

Bei der neuen Maschine sind von den zu Positionabweichungen führenden Fehlerquellen die Einflüsse dynamischer Fehler, die auf Verformung der jeweiligen Führung durch Beschleunigungs- oder Bearbeitungskräfte zurückzuführen sind sowie thermische Fehler durch zeitliche und räumliche Temperaturunterschiede an den Führungselementen, weitgehend kompensiert. Es ergibt sich deshalb neben den bereits erwähnten günstigen Herstellungskosten auch der Vorteil eines deutlich erweiterten Einsatzbereiches. Hochgenaue Meß- und Fertigungsmaschinen, die bisher nur in klimatisierten Räumen betrieben werden konnten, können nun auch in rauher Fertigungsumgebung bei gleicher oder sogar gesteigerter Präzision arbeiten.

Die Bezugselemente des Bezugssystems sind nicht beliebig, d. h. voneinander unabhängig angeordnet, sondern an Kopplungsstellen so miteinander verknüpft, daß jedes Bezugselement mit dem vorhergehenden Bezugselement über mehrere Meßstärker in Eingriff steht. Es werden somit von diesen Meßstärkern an den Kopplungsstellen Positionsänderungen der Achsen des Bezugssystems (z. Bsp. durch Einwirkung von Beschleunigungskräften) erfaßt und in dem Rechner bei der Ermittlung der Fehlerkorrektursignale zusammen mit den festgestellten Abweichungen der Schlitten von den einzelnen Achsen des Bezugssystems verarbeitet, so daß sämtliche Störgrößen erfaßt und von dem Rechner als Korrekturwerte bearbeitet werden. Die Führungsqualität des gesamten Führungssystems hängt damit nur noch von der Präzision der einzelnen Bezugselemente ab. Dabei können die Anforderungen an das Bezugssystem bezüglich einer hohen Genauigkeit noch zusätzlich dadurch verringert werden, daß zunächst in einer Kalibriermessung die Bahn des jeweiligen Bezugselementes mit einer idealen Referenzbahn verglichen wird und die festgestellten Abweichungen als Datensatz in dem Rechner gespeichert und sodann bei den zukünftigen Messungen berücksichtigt werden. Die so das einzelne Bezugselement zu stellende Hauptanforderung ist dann nicht die Verkörperung einer idealen Bahn sondern lediglich, daß es über eine hohe Langzeitstabilität und Temperaturunabhängigkeit verfügt.

In einer bevorzugten Ausführungsform tragen die Bezugselemente der einzelnen Bahnhachsen des Bezugssystems endgültig starr mit ihnen verbundene Winkелеlemente, an denen die Meßstärker sitzen und die jeweils ein benachbartes Bezugselement an der zugehörigen Kopplungsstelle übergreifend angeordnet sind. Dabei

ist es zweckmäßig, daß an den Kopplungsstellen zumindest jeweils fünf Meßaster räumlich verteilt derart angeordnet sind, daß durch sie alle von der jeweiligen Bahnachse abweichenden Relativbewegungen zwischen den beiden Bezugselementen der Größe und Richtung nach erfäßbar sind.

An den vorzugsweise als Normale in Form von Profilschienen oder Linsealen ausgebildeten Bezugselementen sind dabei in der Regel räumlich voneinander getrennte Bezugspunkte oder Abtastbahnen für die Meßaster angeordnet. Diese Bezugselemente können abhängig von dem Verwendungszweck und dem Aufbau der jeweiligen Maschine entweder eine so präzise Oberfläche aufweisen, daß sie unmittelbar als Linearitätsnormale dienen oder aber sie können, wie bereits erläutert, durch Vergleich mit einem Linearitätsnormal zunächst kalibriert worden sein, so daß die bekannten Abweichungen der Oberfläche der Bezugsbahn in Form entsprechender Daten in dem Rechner gespeichert von diesem bei der Ermittlung der Ortskoordinaten signifikante Berücksichtigung werden können.

Die Bezugselemente sind durchweg an Teilen des Transportsystems im wesentlichen kraftfrei, zweckmäßigerweise an diskreten Aufhängestellen aufgehängt, derart, daß eine Begrenzung in 6 Freiheitsgraden gegenüber der Maschine besteht.

Die konstruktive Gestaltung der Halterung und Lagerung der Bezugselemente an den einzelnen Aufhängestellen ist Gegenstand von weiteren Unteransprüchen ebenso wie andere Weiterbildungen der neuen Maschine.

In der Zeichnung ist ein Ausführungsbeispiel des Gegenstandes der Erfindung dargestellt. Es zeigen:

Fig. 1 eine Formelmaschine gemäß der Erfindung in einer perspektivischen teilweise schematischen Seitenansicht,

Fig. 2 die Formelmaschine nach Fig. 1 in der Draufsicht,

Fig. 3 die Formelmaschine nach Fig. 1 in dem Zustand bei abgenommenem Z-Verschleißschlitten in einer perspektivischen Darstellung entsprechend Fig. 2,

Fig. 4 das Bezugssystem der Formelmaschine nach Fig. 1 in perspektivischer schematischer Darstellung und in einem anderen Maßstab,

Fig. 5 das Bauteil des Z-Verschleißschlittens der Formelmaschine nach Fig. 1 unter Veranschaulichung der Halterung und Lagerung des R-Bezugsnormals in perspektivischer schematischer Darstellung und in einem anderen Maßstab und

Fig. 6 die seitliche Halterung des Y-Bezugsnormals der Formelmaschine nach Fig. 1 in einer Schnittdarstellung entsprechend der Linie VI-VI der Fig. 1 in einer Draufsicht und in einem anderen Maßstab.

Die Erfindung wird im folgenden anhand einer entsprechend ausgebildeten mehrachsigen Formelmaschine erläutert, deren Bahnachsen mit Y, Z und R bezeichnet sowie in Fig. 4 angedeutet sind. Die Wahl dieses Ausführungsbeispiels bedeutet jedoch keine Beschränkung der Erfindung; diese ist vielmehr für die verschiedenartigsten Meß-, Fertigungs- und Handhabungsmaschinen anwendbar, bei denen es darauf ankommt, Lagefehler der geführten Teile in den den einzelnen Bahnachsen zugeordneten Führungen festzustellen und entweder unmittelbar mechanisch durch Beeinflussung der Stellantriebe der geführten Teile oder rechnerisch bei der Bestimmung der Ortskoordinaten eines Meßpunktes oder eines auf einer vorbereiteten Bahn geführten Werkzeuges und/oder Werkstückes zu be-

rücksichtigen. Demgemäß ist unter dem Begriff "Schlitten", wie er im Rahmen der vorliegenden Beschreibung und Patentansprüche verwendet wird, allgemein ein in einer Führung zwangsgeführt bewegliches Teil zu verstehen, das abhängig von dem Aufbau und dem Einsatzzweck der jeweiligen Maschine eine unterschiedliche konstruktive Gestaltung, bspw. in Form eines Tisches, eines Wagens, einer Verschiebemaschine und dergleichen aufweisen kann. Auch die Konstruktion der Führung selbst ist im Rahmen der Erfindung keinen Beschränkungen unterworfen. Sie kann als Schiebe- oder Wälzkörperführung mit ebenen oder gekrümmten Führungsf lächen, bspw. in Gestalt von Führungsdübeln oder Führungsausgangsstellen gestaltet sein. Ebenso können alle zweck-

entsprechenden Werkstoffe sowohl für den Aufbau der Schlitten als auch der Führungen zum Einsatz kommen.

Die in der Zeichnung dargestellte Formelmaschine ist in der sogenannten Aufbauebene konstruiert. Sie weist, wie insbesondere aus der Fig. 1 bis 3 zu ersehen, ein in der Draufsicht im wesentlichen L-förmiges Maschinenbett 1 auf, das in Grub- oder Stuhl-Schwellkonstruktion ausgeführt ist. Das Maschinenbett 1 ist gegen den Fußboden über eine elastische Dreipunktschwenkvorrichtung abgestützt, von der eine Auflagerstelle bei 2 in Fig. 1 dargestellt ist. Sie verfügt über einen als Gummielement ausgebildeten Aufstellfuß 3, der über eine Stützhülse 4 höhenverstellbar in einer entsprechenden seitlichen Ausnehmung 5 des Maschinenbettes 1 aufgenommen ist. Auf der horizontalen, ebenen Tischfläche 6 des einen Schenkels des L-förmigen Maschinenbettes 1 ist eine in Gestalt einer Dreieckscheibe 7 ausgebildete Werkstückaufnahme angeordnet, in die im vorliegenden Falle ein zylindrisches Werkstück 8 eingesetzt ist, das von der Formelmaschine gerade vermessend werden soll.

An der Rückseite des anderen Schenkels des L-förmigen Maschinenbettes 1 sind zwei parallel, horizontal ausgerichtete Führungsschienen 9, 10 quadratischer Querschnittsform vorgesehen, die in entsprechenden Aufnahmen 11, 12 (Fig. 1, 3) des Maschinenbettes 1 gelagert sind. Die beiden Führungsschienen 9, 10 sind sowohl in Horizontalrichtung als auch in Vertikalrichtung gegeneinander versetzt angeordnet, so daß durch sie an der Rückseite des Maschinenbettes 1 eine in Fig. 3 bei 13 angedeutete schräge Ebene definiert ist, die mit der Horizontalen einen Winkel von wenigstens 20° – hier 60° – einschließt. Generell kann die Neigung des Maschinenbettes zwischen 0° und mehr als 70° betragen.

Jede der beiden aus Stahl hergestellten Führungsschienen 9, 10 trägt zwei ebene nach oben bzw. außen weisende Führungsbahnen 14, 15 bzw. 16, 17, die jeweils einen Winkel von 90° miteinander einschließen und von denen sich, wie beispielsweise Fig. 1 zeigt, die Führungsbahnen 14, 15 der etwas oberhalb der Tischfläche 6 liegenden oberen Führungsschiene 9 fast über die gesamte Länge des zugeordneten Schenkels des Maschinenbettes 1 erstrecken. Die Führungsbahnen 16, 17 der unteren in unmittelbarer Nähe der Aufstellfläche des Maschinenbettes 1 angeordneten Führungsschiene 10 sind kürzer (vergleiche Fig. 1).

Auf den Führungsbahnen 14, 15 und 16, 17 der beiden Führungsdübeln 9, 10 ist ein erster Verschleißschlitten 18 (Fig. 3) längs einer ersten Bahnachse in der Koordinatenrichtung Y hin- und herbewegbar gelagert. Der erste Verschleißschlitten 18 weist eine im wesentlichen scheibenförmige vertikale Säule 19 auf, die mit ihren Breitseiten quer zu der Koordinatenachse Y orientiert angeordnet ist. Die als Hohlkörper dünnwandig aus entsprechenden Leichtmetallteilen zusammengeschweißte Säule

le 19 hat eine im wesentlichen keilförmige Querschnittsgestalt, wobei ihre breitere Stirnseite 20 zur Maschinenbetriebsseite wendend angeordnet ist. Sie ragt bis in die unmittelbare Nähe der Aufsteilfläche des Maschinenbettes 1 nach unten und übergreift, wie aus Fig. 3 hervorgeht, die Führungsbahn 17 der unteren Führungselemente 10. Anschließend an die hintere Stirnseite 20 ist die Säule 19 unten entsprechend der rückseitigen Kontur des Maschinenbettes gestaltet, während die vordere Stirnwand 21 der Säule 19 etwa mit der Rückwand 22 einer in der Oberseite des rückwärtigen Schenkels des Maschinenbettes 1 parallel zu der oberen Führungsebene 9 verlaufend eingelassenen flächenartigen Vertiefung 23 fluchtet.

Auf der dem Drehtisch 7 abgewandten Rückseite ist an die Säule 19 eine horizontal vorkragende, Armkonstruktion 24 angeschlossen, die, wie aus Fig. 2 zu ersehen, in der Draufsicht eine im wesentlichen dreieckförmige Gestalt aufweist und sich über die gesamte Breite der Säule 19 erstreckt. Sie besteht aus platten- oder rahmenförmigen Konstruktionselementen und ist leichtgewichtiger als Gebälke ausgebildet, das sich mit auf der Ober- und der Unterseite vorgesehenen, im wesentlichen dreieckförmigen Abstützelementen schräg zu dem oberen und dem unteren Stäulende hin erstreckt so daß die Säule 19 auf ihrer Rückseite über ihre gesamte Höhe und Breite abgestützt ist. Die Konstruktionselemente der Armkonstruktion 24 bestehen aus leichtgewichtigen Material, insbesondere aus kohlenstoffverstärkten Kunststoffplatten.

Auf den Führungsbahnen 14, 15 und 16, 17 der beiden Führungselemente 9, 10 ist der erste Verschleißbeschlitzen 18 an fünf diskreten Lagerstellen gelagert, die räumlich so verteilt angeordnet sind, daß sich einerseits eine grobe Führungslage und andererseits eine Fesselung des Verschleißbeschlitzen 18 in Bezug auf fünf Freiheitsgrade ergibt. Von diesen entsprechenden Lagerstellen sind jeweils zwei paarweise einander zugeordnete Lagerstellen in dem Bereich 23 (Fig. 3) und 26 (Fig. 2) sowie eine einzelne Lagerstelle bei 27 (Fig. 3) vorgesehen. Unter der Wirkung ihres Gewichtes ruht somit die Säule 19 mit dem ersten Verschleißbeschlitzen 18 über die Lagerstellen bei 23, 26 auf den Führungsbahnen 14, 15 der oberen Führungsebene 10, während sie über die Lagerstelle bei 27 an ihrer Unterseite in unmittelbarer Nähe der Aufsteilfläche des Maschinenbettes 1 lediglich seitlich gegen die Führungsbahn 17 der Führungsebene 10 abgestützt ist.

An der Säule 19 sind auf der dem Drehtisch 7 zugewandten Vorderseite und der hinteren breiteren Stirnseite 20 jeweils parallele vertikale Führungselemente 28, 29 angeordnet, die gemeinsam eine Längsführung in der Z-Richtung bilden und auf denen ein zweiter Verschleißbeschlitzen 30 in Richtung der Z-Koordinatenscheide, d. h. vertikal verfahrbar gelagert ist. Der zweite Verschleißbeschlitzen 30 weist ein im wesentlichen U-förmiges horizontales Basisteil 31 auf, an das sich unten ein kastenartiger, in der Seitenansicht im wesentlichen dreieckförmiger Fortsatz 32 (Fig. 1) anschließt, dessen Länge etwa der Höhe des Maschinenbettes 1 oder etwa dem vertikalen Abstand zwischen den beiden Führungsebenen 9, 10 entspricht. An dem Basisteil 31 und am unteren Ende des Fortsatzes 32 sind Gleitlager Elemente angeordnet, die räumlich wiederum derart verteilt angeordnet sind, daß sich eine große Führungslänge und damit eine stabile genaue Führung des zweiten Verschleißbeschlitzen 30 auf der Säule 19 ergibt. Solche Lager Elemente sind mit ihren Aufnahmehohlräumen an der Basisteilplatte 31 sch-

maatisch in Fig. 5 bei 33, 34 angedeutet, während am unteren Ende des Fortsatzes 32 eine in Fig. 1 nicht weiter dargestellte Lagerstelle in der vertikalen Verlagerung der Lagerstelle 34 der Fig. 5 vorhanden ist. Diese Lagerstelle an dem Fortsatz 32 ist ebenso wie die Lagerstelle bei 34 der Führungsebene 29 auf der breiten Stirnseite der Säule 19 zugeordnet, während die Lagerstellen bei 33 mit den Führungsebenen 28 auf der vorderen Breitseite 21 der Säule 19 zusammenwirken. Aus diesem Grunde sind die Lagerstellen bei 33 etwa im Bereiche der der Säule 19 zugewandten hinteren Begrenzungsfäche 35 (Fig. 2) des Basisteils 31 angeordnet, während die Lagerstelle bei 34, auf einem von dieser rechtwinklig vortragenden Lagerarm 36 sitzt, der die breitere Stirnfläche 20 der Säule 19 übergreift (vergleiche Fig. 2).

Ebenso wie der erste Verschleißbeschlitzen 18 ist auch der zweite Verschleißbeschlitzen 30 an den jeweils erwähnten Lagerstellen in Bezug auf fünf Freiheitsgrade gelagert; bezüglich des obersten Freiheitsgrades erfolgt die Fesselung jeweils durch die Verteilung der Lagerstellen, die im einzelnen noch erläutert werden wird.

Der zweite Verschleißbeschlitzen 30 trägt seinerseits einen in Richtung der R-Koordinatenscheide verschleißgeleiteten dritten Verschleißbeschlitzen 37, der im wesentlichen gehäusartig ausgebildet ist und auf welchem ein horizontal ausgerichtetes röhrenförmiger Ausleger 38 angeordnet ist, der einseitig einen mit 39 bezeichneten Taster hält, welcher mit einem Tastarm 40 die Form der Innenwandung einer Bohrung 41 des Werkstückes 8 abtastet. Die Anordnung und Ausbildung der drei Verschleißbeschlitzen 18, 30 und 37 sowie der Säule 19 sind derart getroffen, daß der Massenschwerpunkt des aus diesen Teilen, einschließlich des Auslegers 38 bestehenden Systems in einer zur in der Führungsebene 9, 10 verlaufenden Vertikalebene in einem Bereich zwischen den beiden Führungsebenen 9, 10 – oder gegebenenfalls bezogen auf Fig. 3 – rechts hinter der unteren Führungsebene 10 liegt. Die Lage des Massenschwerpunktes hängt etwas von der jeweiligen Stellung, insbesondere des dritten Verschleißbeschlitzen 37 ab, doch gelangt der Massenschwerpunkt nie in den Bereich vor der oberen Führungsebene 9 (in Fig. 1 links von derselben), so daß die Säule 19 nicht nach vorne kippen kann.

Auf dem horizontalen Basisteil 31 des zweiten Verschleißbeschlitzen 30 ist ein nach Art eines im Querschnitt dreieckförmigen Hohlkörpers ausgebildetes Führungsteil 42 befestigt, das ebenso wie die Teile des Fortsatzes 32 und gegebenenfalls das Basisteil 31 aus Platten eines kohlenstoffverstärkten Kunststoffes hergestellt ist. Der zweite Verschleißbeschlitzen 30 ist deshalb insgesamt ebenfalls leichtgewichtiger konstruiert, um seine träge Masse auf ein Minimum zu reduzieren.

Das Führungsteil 42 trägt im Bereiche seiner oberen Kante zwei beschärfte horizontale leitenförmige Führungsbahnen 43 (vergleiche Fig. 1, 5), die in Ebenen liegen, welche ein Winkel von 90° miteinander einschließen. Außerdem ist auf der der Säule 19 abgewandten Seite auf dem Führungsteil 42 in unmittelbarer Nähe des Basisteils 31 eine dritte horizontale Führungsbahn 44 (Fig. 5) vorgesehen. Auf diesen Führungsbahnen 43, 44 ist der dritte Verschleißbeschlitzen 37 in der R-Richtung verschleiblich gelagert. Er weist, wie bereits erwähnt, ein aus leichtgewichtigen Material, vorzugsweise dünnen kohlenstoffverstärkten Kunststoffplatten bestehendes, etwa quaderförmiges Gebälke 45 auf, das den Ausleger 38 trägt und sich auf die Führungsbahnen

43, 44 abstützende, räumlich verteilt angeordnete Lagerstellen trägt, die in den Figuren nicht weiter ange-  
deutet sind. Diese Lagerstellen, von denen zwei im  
axialen Abstand einander jeweils paarweise gegenüber-  
liegend mit den beiden oberen Führungsrollen 43 zu-  
sammenwirken, werden durch eine mit der unteren Füh-  
rungsbahn 44 zusammenwirkende fünfte Lagerstelle er-  
gänzt, so daß wiederum ähnlich wie bei den beiden an-  
deren Verschleißbeschlitzen 18, 37 eine Fesselung in Be-  
zug auf flach Freiheitsgrade zustande kommt, wobei die  
Fesselung bezüglich des sechsten Freiheitsgrades wie-  
derum durch die Stelleinrichtung erfolgt.

Die nur Längsverchiebung der drei Verschleißbeschlit-  
zen 18, 30, 37 in ihren jeweiligen Führungen (8, 10, 28, 29;  
43, 44) dienenden Stellanrichtungen sind jeweils in Ge-  
stalt von Kugellostspindeltrieben ausgebildet.

Für den ersten Verschleißbeschlitzen 18 ist dazu eine  
parallel zu der oberen Führungsschiene 9 ausgerichtete,  
in Lagerböcken 45 (Fig. 1, 3) auf Konsolen 46 an der  
Rückseite des Maschinenbettes 1 drehbar gelagerte Ge-  
windschindel 47 vorgesehen, die über einen Elektro-  
Stellmotor 48 angetrieben ist und mit einer in der Säule  
19 befestigten Spindelmutter 49 (Fig. 3) zusammen-  
wirkt. Die Spindelmutter 49 ist nach dem Massenschwer-  
punkt des aus den drei Verschleißbeschlitzen, ein-  
schließlich des Auslegers 38 gebildeten Systems ange-  
ordnet, um auftretende Kipp- oder Verdrehkräfte für  
den ersten Verschleißbeschlitzen 18 auf ein Minimum zu  
reduzieren.

Die Verstellung des zweiten Verschleißbeschlitzen 30  
erfolgt über eine vertikale, parallel zu den Führungs-  
rollen 28, 29 ausgerichtete an der vorderen Bruchseite der  
Säule 19 drehbar gelagerte Gewindschindel 50, die  
einenorts bei 51 in einem Lagerteil an der Säule 19 und  
andererseits in einem dem Elektro-Stellmotor enthal-  
tenden Antriebgehäuse 52 (Fig. 3) drehbar gelagert ist,  
das an der Säule 19 befestigt ist. Die Kopplung mit dem  
zweiten Verschleißbeschlitzen 30 erfolgt über eine in der  
Basisteilplatte 31 vorgesehene Spindelmutter, die in den  
Zeichnungen nicht weiter dargestellt ist.

Zur Verstellung des dritten Verschleißbeschlitzen 37  
dient eine in Fig. 1 bei 53 angedeutete auf den Füh-  
rungsrollen 42 parallel zu den Führungsrollen 43 aus-  
gerichtete angeordnete Gewindschindel, die mit einer in  
dem Gehäuse 45 vorhandenen, in der Zeichnung nicht  
weiter dargestellten Spindelmutter zusammenwirkt. In-  
nen des Elektro-Stellmotor 1st bei 54 (Fig. 1) angedeu-  
tet; ihr zugeordnetes Lager an anderen Spindelsteile ist  
nicht weiter veranschaulicht.

Sowohl bei dem zweiten Verschleißbeschlitzen 30 als  
auch bei dem dritten Verschleißbeschlitzen 37 ist die Lage  
der mit der Gewindschindel 50 bzw. 53 zusammenwir-  
kenden Spindelmutter bezüglich des Massenschwer-  
punktes des bewegten Teiles (30, 37) so gewählt, daß sie  
möglichst mit dessen Massenschwerpunkt zusammen-  
fallen, so daß sich minimale Dreh- oder Kippkräfte erge-  
ben.

Aus der vorstehenden Beschreibung der Formel-  
maschine ergibt sich, daß deren drei Verschleißbeschlitzen  
18, 30, 37 mit extrem geringer Masse gekuppelt  
sind, so daß sie in Leichtbauweise unter weitge-  
hender Verwendung von kohlenstoff- oder keramik-  
verstärkten Platten und Stäben zusammen-  
gefaßt, so daß sich eine hohe Formbeständigkeit nicht  
nur mit Rücksicht auf das Langzeitverhalten sondern  
auch unter wechselnden Temperatureinflüssen ergibt.

Die Formgestaltung der Konstruktion dieser einzelnen  
Elemente ist im Hinblick auf eine Optimierung der Stab-  
festigkeit ausgelegt.

Gleichzeitig sind die Führungsrollen bzw. -leisten  
9, 10, 28, 29 und 43, 44 so angeordnet und ausgebildet,  
daß die von ihnen geschaffenen Führungen sich durch  
Langzeitstabilität und geringe Temperatureinflüsse aus-  
zeichnen und die bei der Bewegung der auf ihnen ge-  
führten bewegten Teile oder Schlitzen auftretenden  
Transportkräfte (Beschleunigungskräfte etc.) ab-  
schleichen. Die Führungsrollen sind jeweils durch die Ver-  
schleißbeschlitzen 18, 30, 37 verkettenes Transportsystem,  
das ausschließlich die Aufgabe hat, die bei der Ver-  
stellung der Verschleißbeschlitzen längs der ihnen jeweils  
zugeordneten Koordinatenachsen Y, Z bzw. R auftretenden  
Transportkräfte, einschließlich des Gewichtes, aufzu-  
nehmen; es ist deshalb im Hinblick auf die optimale  
Lösung dieser Aufgabe ausgelegt, wobei es die Füh-  
rungsrollen der Führungen keine übermäßigen  
Anforderungen gestellt werden.

Um bei der Verstellung der Verschleißbeschlitzen 18,  
30, 37 längs ihrer Führungen auftretende Bahn- oder  
Positionierungsfehler zu erfassen und auszugleichen bzw. im  
Meßergebnis zu berücksichtigen, sind besondere Maß-  
nahmen getroffen:

Das Führungssystem für die Verschleißbeschlitzen 18,  
30 und 37 ist in das im vorstehenden beschriebene  
"Transportsystem" und ein eigenes "Bezugssystem" auf-  
geteilt, das im wesentlichen unabhängig vom Trans-  
portsystem des Führungssystems ist. Das Bezugssystem,  
dessen grundsätzlicher Aufbau insbesondere aus Fig. 4  
zu ersehen ist, stellt die Präzision der Führung und der  
Lage in Bezug auf andere Achsen sicher. Es ist selbst  
keinen größeren Kräften ausgesetzt und so beschaffen,  
daß seine Geometrie langzeitstabil und wenig tempera-  
turabhängig ist. Demgemäß braucht das eigenliche  
Transportsystem, wie bereits erläutert, nur geringere  
Anforderungen bezüglich seiner Führungseigenschaften  
zu erfüllen, d. h. es kann beispielsweise ohne Juxta-  
positionierung der Führungselemente aufgebaut werden, während die eigen-  
lichen Führungselemente 9, 10, 28, 29, 43, 44 kostengün-  
stig ausgeführt und angeordnet werden können.

Das Bezugssystem besteht, wie insbesondere aus  
Fig. 4 zu entnehmen, aus drei Bezugselementen in Ge-  
stalt von geradlinigen Normale 55, 56, 57, die jeweils  
von im Querschnitt rechteckigen Profildimensionen gebil-  
det sind, welche wenigstens auf zwei einander be-  
nachbarten Seitenflächen genaue gerade Abstandsflächen 55a,  
56a, 57a bzw. 56b, 57b bzw. 57c tragen. Diese prismatischen Körper können auch in Form von  
Linialen massiv oder, wie dargestellt, als Hohlkörper  
ausgebildet sein. Ihr Material und ihre Profilform sind  
so gewählt, daß sie langzeitstabil und wenig temperatu-  
rabhängig sind.

Die drei Normale 55, 56, 57 sind jeweils entsprechend  
den Bahn- oder Koordinatenachsen Y, Z, R ausgerich-  
tet. Sie stehen somit rechtwinklig aufeinander, wobei die  
einander benachbarten Normale 55, 56 und 56, 57 an  
zwei Kopplungsteilen bei 58 bzw. bei 59 miteinander  
gekuppelt oder verketten sind. An diesen Kopplungs-  
stellen 58, 59 sind Meßeinrichtungen vorgesehen, die an  
den Kopplungsteilen 58, 59 auftretende Relativbewegungen  
der Normale 56, 55 bzw. 57, 56 zueinander der  
Größe und Richtung nach erfassen und für diese Meß-





steht, daß sich Formänderungen des Bauteiles 31 und damit des zweiten Verschleißabschnittes 30 nicht auf das Normal 57 übertragen können.

Die beiden Auflagerstellen 66, 67 des Y-Normals 55 auf dem Maschinenbett 1 sind, wie bereits erwähnt, grundsätzlich gleich wie die Auflagerstellen 70, 71 für das R-Normal 57 gestaltet. Gleiches gilt auch für die Ausbildung der seitlichen Halterung bei 68 für das Y-Normal 55 und das R-Normal 57, die anhand der Fig. 6 kurz für das Y-Normal 55 erläutert werden soll:

In die entsprechende Seitenwand des Normals 55 ist ein aus Stahl bestehender beidseitig parallel geschliffene Lagerflächen 77 tragender Stöpsel 78 eingesetzt, der beidseitig zwischen Lagerkugeln 79 festgeklemmt ist, die mit ihren Mittelpunkten auf einer gemeinsamen Achse 80 liegend in Kugelflächen 81 aufgenommen sind, von denen eine in einem Druckstück 82 und die andere in einem ortsfesten Halter 83 sitzt, der in eine entsprechende Gewindebohrung des Lagerbügels 69 (Fig. 2) eingeschraubt ist. Durch zugeordnete Bohrungen 84 in der einen Wand des Normals 55 verlaufende Zuganker 85, die durch Bohrungen 86 in der gegenüberliegenden Wand des Normals 55 zugehört sind, sind verspannt. Druckübertragende Druckfedern 87 gewährleisten eine federnde Anpassung der beiden Lagerkugeln 79 an die Lagerflächen 77.

Da sich die federbelasteten Lagerkugeln 79 auf den Lagerflächen 77 frei abrollen können und im übrigen eine genaue punktförmige Halterung des Normals 55 bewirken, können Formänderungen des Maschinenbettes 1 und des Lagerbügels 69 nicht auf das Normal 55 übertragen werden.

Gleiches gilt für die entsprechend gesteuerten Halterungen der Normale 56 an der Skule 19 und 57 an dem Bauteil 31.

Das bezüglich des R-Normals 57 verfahrbare Winkелеlement 65 ist starr mit einer Innenwand des Gehäuses 45 des dritten Verschleißabschnittes 37 verbunden; es ist kraftlos, wobei die Verbindung mit dem Gehäuse 45 (Fig. 1) sicherstellt, daß das Winkелеlement 65 alle Bewegungen im Raume des Auslegers 38 und damit des Tasters 39 bezüglich des R-Normals 57 mitmacht.

Auf diese Weise ergibt sich eine kaskadenartige Verkettenung des Tasters 39 über die Meßtaster 65a bis e, 62a bis e, 61a bis e und die Normale 57, 56, 55 zu einem Meßkreis, der durch das Maschinenbett 1 und die Verlegetaufnahme in Form des Drehtisches 7 geschlossen ist. Grundsätzlich kann in diesem geschlossenen Meßkreis auch eine Lageabweichung der C-Achse, die zentral gemessen und berücksichtigt werden. Dazu können in grundsätzlich bereits geschilderter Weise die die C-Achse definierenden Lagerteile über mindestens fünf Meßtaster meßtechnisch erfaßt und auf eines der Normale bezogen werden.

Im Betrieb der Formmeßmaschine werden somit in den einzelnen Bahnnachsen Y, Z, R zugeordneten Führungselemente auftretende räumliche Führungselemente der Größe und der Richtung nach einwandfrei erfaßt und in Form von entsprechenden Meßwertsignalen dem Rechner 60 zugeleitet, der Signale erzeugt, die entweder dazu benutzt werden, die resultierende Bahn- oder Positionsabweichung des Taststiftes 40 des Tasters 39 in den Ortskoordinaten des Meßergebnisses rechnerisch oder aber durch unmittelbare Beeinflussung der Stellrichtungen in den einzelnen Achsrichtungen die Bahnabweichungen mechanisch zu berücksichtigen.

Die Anforderungen an das Bezugssystem bezüglich einer idealen Bahnkurve lassen sich noch dadurch reduzieren, daß die Bezugsebenen der Normale 55, 56, 57 vor der eigentlichen Messung mit einer idealen Referenzbahn verglichen werden. Die dabei festgestellten Abweichungen werden in dem Rechner 60 als Datensatz dauernd gespeichert und bei den zukünftigen Messungen berücksichtigt. Die Hauptanforderungen an die einzelne Normale 55, 56, 57 sind dann nicht die Verkopplung einer idealen Bahn, sondern lediglich Langzeitstabilität und Temperaturunabhängigkeit.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur exakten Bestimmung von Raumpunkten bei einer mehrere Bahnnachsen aufweisenden Maschine, insbesondere Meßmaschine, die ein Führungssystem mit entsprechenden einzelnen Bahnnachsen (Y, Z, R) ausgerichtetes Hagflächen (8, 10, 28, 29, 43, 44) und auf diesen linsbeweglich gelagerte Schlitzen (18, 30, 37) aufweist von denen wenigstens einer zur Aufnahme eines Lagertag einer bestimmten Bahn im Raum zu bewegendes Teiles (40) eingerichtet ist mit auf einzelne Bahnnachsen ausgerichtetes Hagflächen Bezugselementen (55, 56, 57), die durch benachbarte Meßtaster (61a bis e; 62a bis e; 65a bis e) abtastbar sind, welche bei Bewegung des jeweiligen Schlitzen längs seiner Führung auftretende Bahnabweichungen feststellen und für die erfaßten Meßwerte kennzeichnende Meßwertsignale in einem Rechner (60) eingeben, der sie bei der Berechnung von Orts- oder Bahnkoordinaten oder Stellwegen verarbeitet und wobei das Führungssystem in ein mehrachsiges Transportsystem für die Schlitzen (18, 30, 37) und ein entsprechendes mehrachsiges Bezugssystem aufgestellt ist, von denen das Transportsystem aus den Schlitzen (18, 30, 37) tragenden Führungselementen besteht und lediglich zur Aufnahme der bei der Bewegung der Schlitzen auftretenden Transport- und Gewichtskräfte ausgelegt ist und das Bezugssystem aus den Bezugselementen (55, 56, 57) besteht, die im wesentlichen frei von äußeren Kraftwirkungen gelagert und an Kopplungsteilen (58, 59) miteinander gekoppelt sind, wobei an den Kopplungsteilen zwischen benachbarten Bezugselementen auftretende Relativbewegungen feststellende Meßtaster (61a bis e; 62a bis e) angeordnet sind, die für die Größe und Richtung solcher Relativbewegungen an den Kopplungsteilen kennzeichnende Meßwertsignale erzeugen, die dem Rechner (60) zugeführt werden und in diesem verarbeitet werden.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Bezugselemente maßgenaue Normale (55, 56, 57) aufweisen.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Normale (55, 56, 57) als Profilschienen oder -eisen ausgebildet sind.
4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Bezugselemente (55, 56, 57) der einzelnen Bahnnachsen (Y, Z, R) einseitig starr mit ihnen verbundene Winkелеlemente (61, 62) tragen, an denen die Meßtaster (61a bis e; 62a bis e) sitzen und die jeweils ein benachbartes Bezugselement an der Kopplung-

- 15  
 stelle (58, 59) übergreifend angeordnet sind.  
 5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens einer der Schlitten (37) mit einem ein zugeordnetes Bezugselement (57) übergreifend angeordneten Winkелеlement (65) 5 starr verbunden ist, an dem Meßbaster (62a bis e) angeordnet sind, die die Bahnabweichung des Schlittens (37) bezüglich des Bezugselementes (47) der Größe und Richtung nach feststellen und entsprechende Meßwertsignale in den Rechner (60) 10 eingeben.  
 6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß an den Kopplungsstellen (58, 59) zumindest fünf Meßbaster (61a bis 61e; 62a bis 62e) räumlich verteilt derart 15 angeordnet sind, daß durch sie alle von der jeweiligen Bahnachse abweichenden Relativbewegungen zwischen den beiden Bezugselementen (55, 56; 57, 56) der Größe und Richtung nach erfassbar sind.  
 7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden 20 Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß an den Bezugselementen (55, 56, 57) räumlich voneinander getrennte Bezugsbahnen (55a bis c; 56a bis c; 57a bis c) zur Abtastung durch die Meßbaster angeordnet sind. 25  
 8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß über Meßbaster miteinander gekoppelte Bezugselemente (56, 57) des Bezugssystems mit Schlitten (18, 30) starr verbunden sind und daß ein Bezugselement 30 (55) des Bezugssystems starr mit einem Maschinenbett (1) verbunden ist.  
 9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das jeweilige Bezugselement (55, 56, 35 57) an dem jeweiligen Schlitten oder dem Maschinenbett an diskreten Auflagestellen derart aufhängt ist, daß es im wesentlichen frei von äußeren Kräfteinwirkungen ist.  
 10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Bezugselement (55, 56, 57) mit 40 einer Begrenzung in 8 Freiheitsgraden aufgehängt ist.  
 11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Bezugselement (55, 56, 57) an 45 zwei Stellen (bzw. 66, 67) im wesentlichen punktförmig unterstützt und an einer dritten Stelle (68) seitlich abgestützt ist.  
 12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, 50 dadurch gekennzeichnet, daß an wenigstens einer Aufhängestelle (71; 70) ein Kugel/Pfannen- oder Prismenlager (73, 74; 73, 72) angeordnet ist.  
 13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 12, 55 dadurch gekennzeichnet, daß an wenigstens einer Abstütz- oder Aufhängestelle das Bezugselement (55, 56, 57) zwischen zwei elastisch vorgespannten und sich auf ebenen Lagerflächen (77) abstützenden Lagerkugeln (79) axial beweglich gehalten ist.  
 14. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden 60 Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mit dem Bezugssystem eine Einrichtung eines zu vermessenden oder zu bearbeitenden Werkstücks über Meßbaster gekoppelt ist, die für die Abweichung wenigstens einer Werkstückaufnahmeachse (C) von zumindest einem Normal des Bezugssystems kennzeichnende Meßwertsignale in den Rechner 65 (60) eingeben.

- Leerselte -

THIS PAGE BLANK (USPTO)

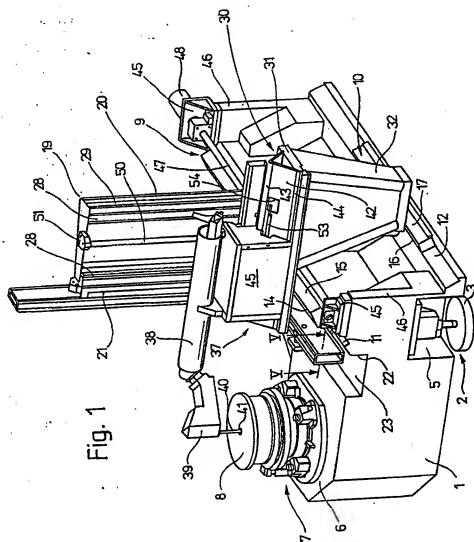
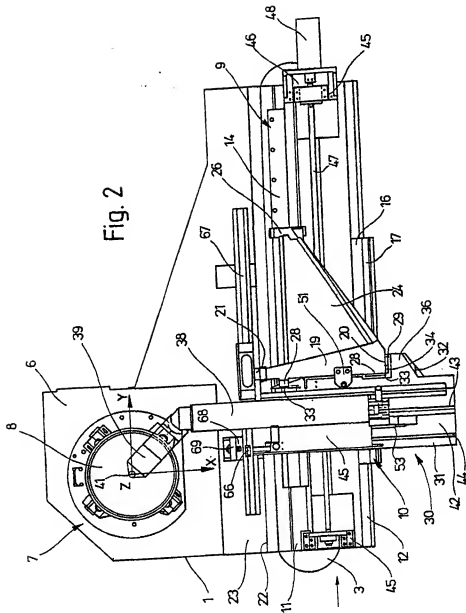


Fig. 1



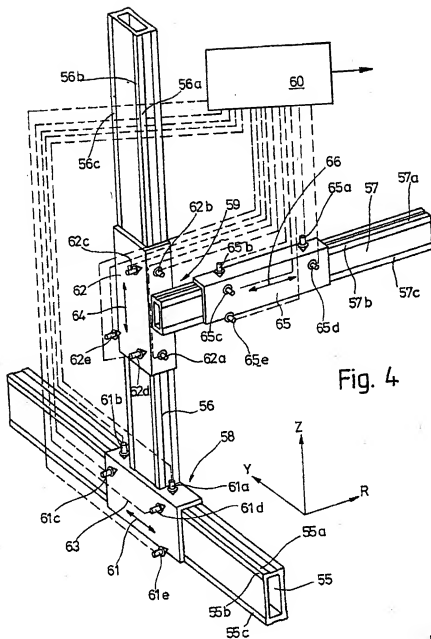


Fig. 4

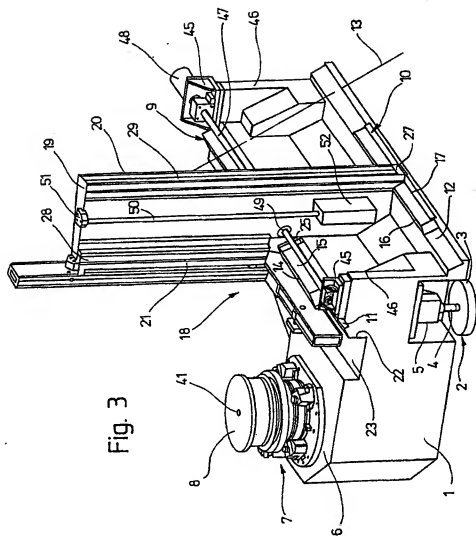


Fig. 3

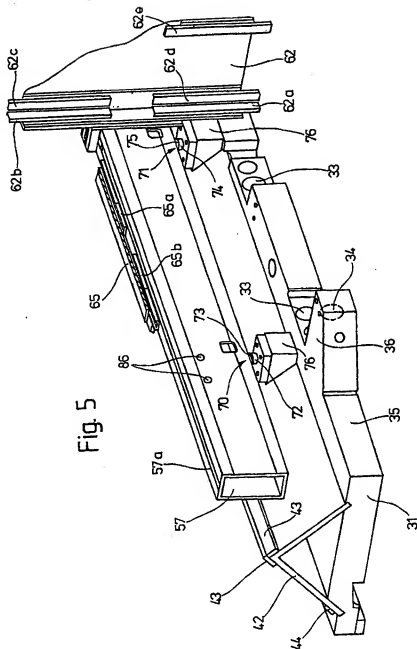


Fig. 5



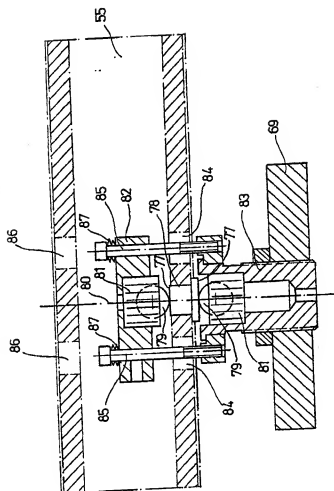


Fig. 6

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINE OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image  
problems checked, please do not report these problems to  
the IFW Image Problem Mailbox.**